

基于集成电路的多功能流量计^{*}

韩克敏¹, 韩 勇², 张 宁¹

(1 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2 西北农林科技大学 信息工程学院, 陕西 杨凌 712100)

〔摘 要〕 介绍了基于集成电路的多功能流量计的测流原理,检测水位及水位差的压力传感器和浮标传感器的应用,相关集成电路的工作原理,多功能流量计的功能及特点。最后列出了多功能流量计的实验结果,说明该流量计具有较高的精度,可以测量水位、流量、累计水量,能够满足实用要求。

〔关键词〕 流量计; 测流公式; 压力传感器; 集成电路

[中图分类号] TH863⁺.52

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2004)11-0133-05

为了充分利用水资源, 实施计划用水, 灌区采用先进的量水技术是十分必要的。同时, 采用先进的量水技术有利于实施计量收费, 是提高灌区运营效率、增加灌区经济效益的重要保证。为了适应水利系统深化改革的要求, 真正把水作为商品, 做到科学量水、配水, 按量计费, 充分发挥现有水资源的经济效益, 本研究研制了适合灌区量水的多功能流量计。

1 多功能流量计的测流原理

多功能流量计可与多种量水设施配套使用,包括三角量水堰(自由流、潜流)、梯形量水堰(自由流、潜流)、巴歇尔量水槽(自由流)、无喉段量水槽及抛物线无喉段量水槽、短管(淹没流)、喷嘴等。

对应上述各种量水设施,其测流计算公式如下。

三角量水堰: $Q = \frac{5}{15} \mu \sqrt{2g} \tan \frac{\theta}{2} H^{2.5}$, (自由流)

$$Q = 1.40H^{2.5}; \quad (\text{潜 流})$$

梯形量水堰: $Q = 1.86BH^{1.5}$, (自由流)

$$Q = 1.860 B H^{1.5}; \quad (\text{潜 流})$$

巴歇尔量水槽: $Q = 2.48 W H_a^{1.57}$; (自由流)

无喉段量水槽: $Q = k_1 W^{1.025} H^{n1}$; (自由流)

短管: $Q = \mu w \sqrt{2gh}$; (淹没流)

喷嘴(圆形): $Q = 3.3a^2 \sqrt{Z}$ (淹没流)

以上各式中, Q 为过水流量, m^3/s ; μ 为流量系数(不同量水设施由试验确定); Z 为水位差, m ; H (H_0) 为水位, m ; W 为喉道宽, m ; B 为堰底宽, m ; σ 为潜没系数; a 为出口高度, m ; ω 为过水断面, m^2 ; g 为重力加速度, 取 9.81 m/s^2 ; h 为水位差, m 。

从以上各公式可以看出,当某种量水设施的形式、尺寸确定,流量系数通过实验率定后,流量的计算主要取决于各量水设施在上游的水位或上下游的水位差。只要通过传感器准确测出水位或水位差输入测量仪表的输入端,经过仪表内电路的计算处理就可以显示出流量和放水量的数值。流量系数、过水面积以及其他参数都可以通过仪表的外控设备方便地预置到计算电路中。按以上思路,本研究设计出了多功能流量计的整体组成框图,见图 1。

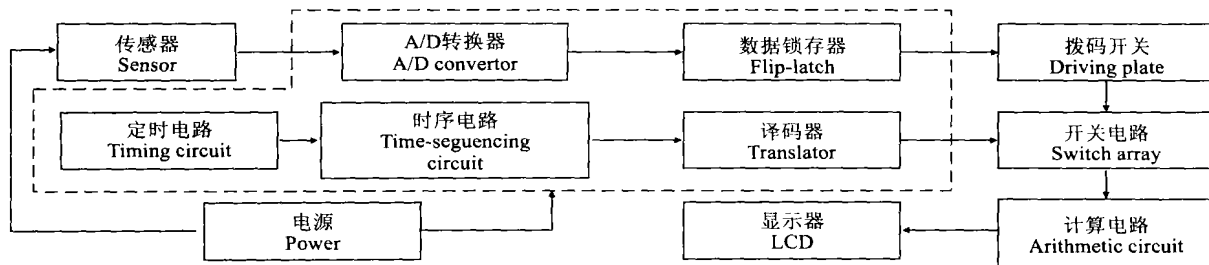


图 1 多功能流量计组成方框图

Fig. 1 Block diagram of flowmeter

[收稿日期] 2004-04-07

[基金项目] 水利部科技创新项目(SCX-52)

[作者简介] 韩克敏(1944-),男,吉林辽源人,教授,主要从事水电站自动化和灌溉量水仪表研究。

2 多功能流量计的组成

多功能流量计是建立在量水设施基础上的二次量测仪表,由两部分组成:第一部分是传感器,用来采集水位或水位差信号;第二部分是测量电路,用来读取测量的水位和水位差数据,并计算水位、流量和累计放水量。这种仪表的特点是直读性,便于携带,便于安装,测量误差小,能源消耗低,适用于各种农田量水设施。

2.1 传感器

传感器可将非电量(水位或水位差)转换为电量,是测量装置和控制环节的底层元件,对测量结果有重要影响。传感器是一个完整的测量装置,一般由敏感元件、转换元件和测量电路 3 部分组成,有时还要加上辅助电源,见图 2。在研究中分别采用自制的转轮式水位传感器和定型产品微压差压力传感器进行实验,信号的采集和转换精度均达到要求。

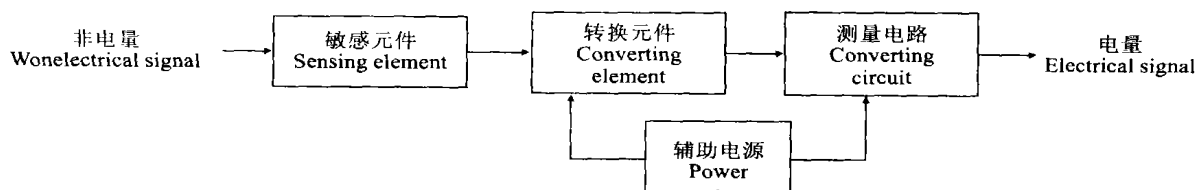


图 2 传感器的组成框图

Fig 2 Block diagram of sensor

2.1.1 水位传感器 水位传感器由浮标、转轮、平衡锤、电桥转换电路等组成。当水流通过放水设施时,测筒内的水位发生变化使浮标上升或下降,在浮力作用下浮标驱动转轮旋转,反映水位的变化。再由电桥转换电路输出反映水位变化的电信号送入仪表的输入端进行采集。模拟水位的电信号的比例系数由实验确定。电桥电路如图 3 所示。电桥桥臂电阻输出电压可按式计算^[1]:

$$\Delta V_{ab} = V_{cc} \left[\frac{n_1 R_{w1}}{k R_0 + R_1 + R_2} - \frac{n_2 R_{w2}}{(1-k) R_0 + R_2 + R_{w2}} \right],$$

式中, V_{cc} 为传感器电源; R_0 为调零电位器; R_{w1} , R_{w2} 为可变电位器; R_1 , R_2 为平衡电阻; k 为调零电位器分配系数; n_1 , n_2 为可变电位器分配系数。

2.1.2 传感器的安装 水位传感器及微压差压力

传感器的外型及安装示意图见图 4^[1]。

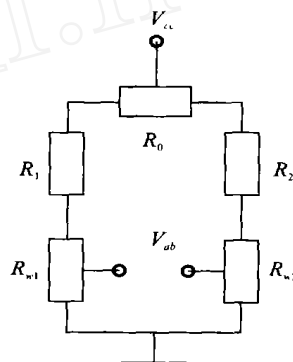


图 3 电桥电路

Fig 3 Bridge circuit

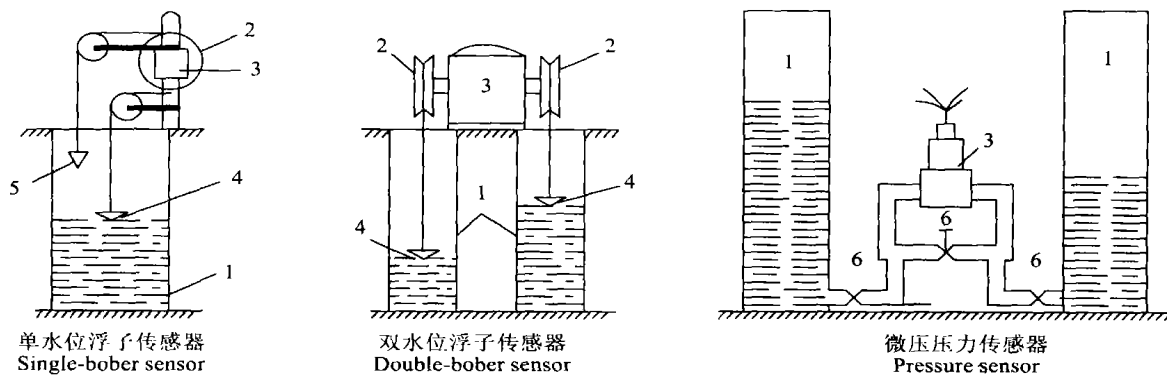


图 4 传感器安装示意图

1 测筒; 2 转轮; 3 传感器; 4 浮子; 5 平衡锤; 6 阀门

Fig 4 Sketch on sensor installation

1 Measure cylinder; 2 Wheel; 3 Sensor; 4 Bobber; 5 Balacing hammer; 6 V valve

2.2 仪表电路的组成

2.2.1 仪表的输入接口电路 如图 5 所示, 由传感器采集到的信号电压 V_G 送到 A/D 转换器 CD14433 的输入端 3 脚, 为了满足后面运算电路取数的要求和避免重复送数, 在电路设计中采用了具有选通、复位、三态控制的双四位锁存 D 触发器 CD4508 作为数据传递的中间环节。

在启动脉冲作用下, CD14433 的 9 脚和 14 脚将信号电压转换的结果送入 CD4508 的输入端锁存器, 并经多路开关输出, 同时将 CD4508 清零。反相器 H_4 的脉冲选通信号使两片 CD4508 的锁存数据从高位到低位依次送入十进制译码器 CD4028, 将模拟信号的数字量经二极管送入下一级开关电路。

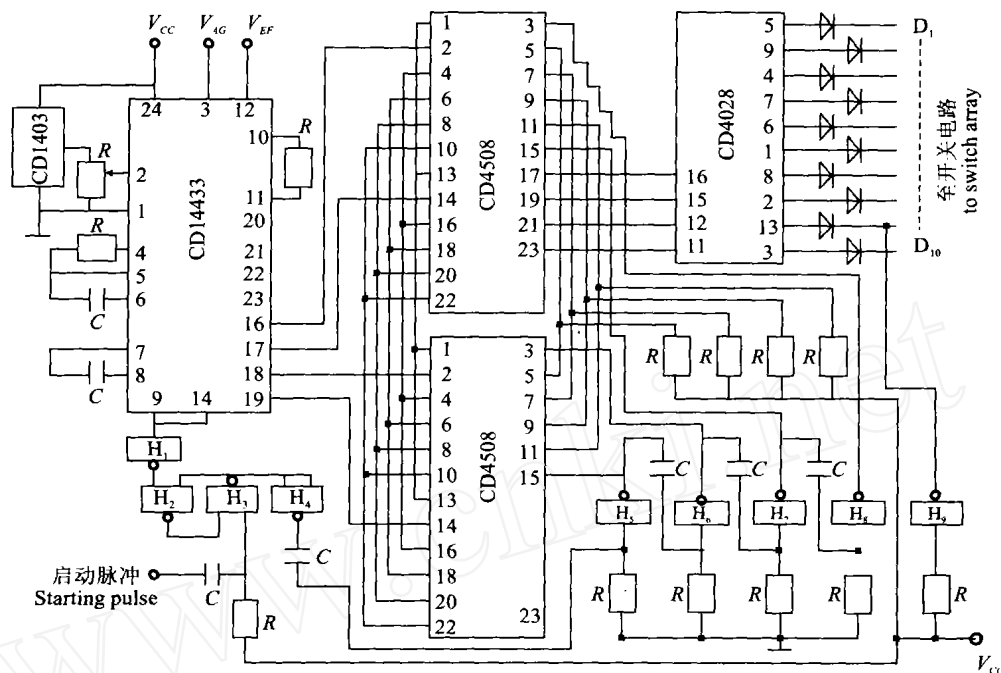


图 5 输入接口电路

Fig 5 Input port circuit

由于 A/D 转换器 CD14433 的 1 个转换周期约等于 16 400 个时钟周期, 而它的输出电压为 0~2 V, 为个、十、百、千四位数字(有效数字), 送数必须在 1 个 A/D 转换周期内完成, 否则会出现送数错误或重复送数。这就要求由反相器组成的时序电路的每段时间常数应小于 4 000 个时钟周期。CD14433 转换器是三位半的双积分模块, 他是把线性放大器和数字逻辑电路集成在一块芯片上, 使用时仅需要外接两只电阻、两只电容和基准电压源, 即可以组成一个具有自动调零功能的模数转换系统。其输出电压量程为 0~2 V, 当接入的时钟频率为 48 kHz 时, 每秒转换速率为 3 次。CD14433 需要正负电源供电, 在使用中负电源可以通过能隙电源模块 CC7660 经正电源取得^[2]。

2.2.2 定时电路 定时电路是接口电路正确采集数据和传送数据的保证, 同时也为时序电路按设计的程序提供时钟控制信号分别控制其他电路的工作状态。定时电路在设计中采用了 2 片 14 位二进制计

数器/分频器 CD4060 集成电路, 以及外围元件组成了时基脉冲信号发生器, 用 2 片十进制计数器/分频器 CD4017 和外围元件组成了步进时间间隔控制信号发生器^[3,4]。

从图 6 可以看出, 由第一片 CD4060 和石英晶体 JZ 组成的时基信号经第二片集成电路 CD4060 的再分频, 可以得到高精度的秒脉冲信号。从第二片 CD4060 的不同输出管脚引出所需要的脉冲信号, 分别控制定时和控制电源的工作状态。转换开关 S1 拨在不同位置可以得到不同的定时时间, 与开关型三极管和继电器的配合可以达到自动控制电源的工作和中断状态^[5]。

2.2.3 时序电路 时序电路是为了保证传感器采集数据、传送数据、数据处理以及输出显示等按设定程序进行而设计的。时序电路按设定程序依次发出钟控脉冲, 分别控制以上电路的工作状态。从图 7 可以看出, 时序电路的钟控信号源由集成电路 CD4060 和石英晶体、电阻、电容等元件组成电容三

点式振荡器, 石英晶体的振荡频率为 32 768 kHz。图 7 中的 YH₁~YH₄ 与计数器 IC₈ 组成可控振荡器, 其中 YH₁ 和 YH₂ 组成 R-S 触发器控制 YH₄ 输出的脉冲数。而 YH₄ 输出的脉冲启动 CD 4017, 依次输出时序信号控制其他电路。CD 4017 输出脉冲

的宽度等于振荡器的振荡频率, 而振荡周期 T 只与外接的电阻 R_4, R_5 和电容 C_3 的数值有关, 一般可以按下式计算^[6]:

$$T = (1.4 \dots 2.2) \cdot R_5 \cdot C_3, R_4/R_5 = 10.$$

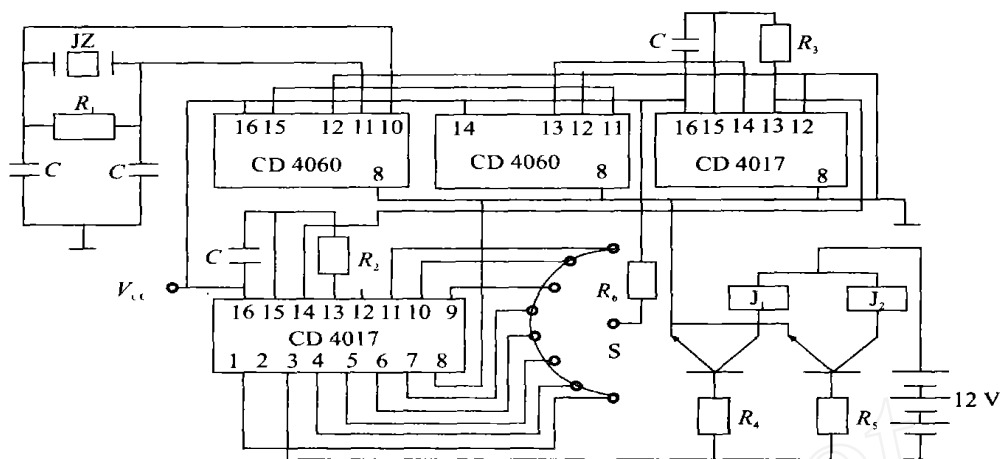


图 6 定时电路原理图

Fig 6 Schematir of timing circuit

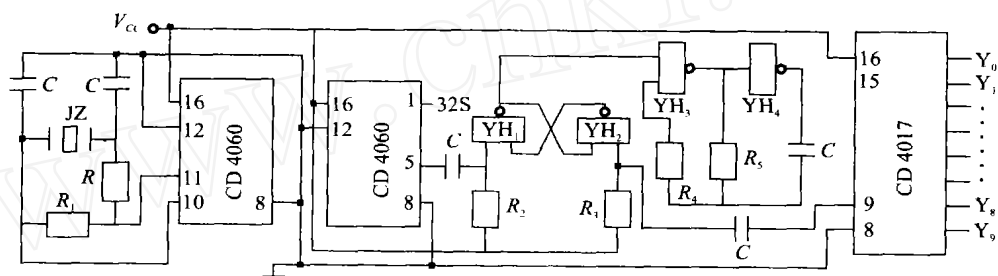
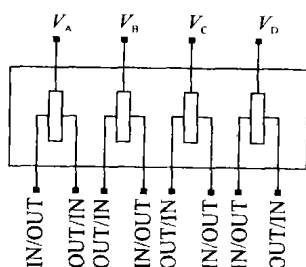


图 7 时序电路原理图

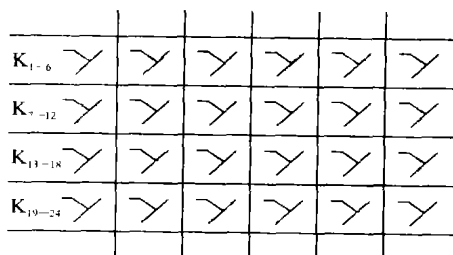
Fig 7 Schematic of timing-sequencing circuit

2.2.4 输出接口电路 由图 5 与图 7 的电路所采集的信号必须通过输出接口电路才能与运算显示电路连接。本研究用集成电路 CD 4066 组成的开关矩阵电路组成了输出接口电路。CD 4066 引出端的功能示意图和开关矩阵示意图见图 8^[4]。

CD 4066 是 CMOS 集成的双向模拟开关, 每个集成电路中含有 4 个彼此独立的能控制模拟信号和数字信号的开关, 其工作速度很高, 静态功耗很低 (0.1mW) 且有较高的导通/截止输出电压比。



CD 4066 管脚图
Sketch of CD 4066



开关阵列示意图
Sketch of switch array

图 8 CD 4066 组成的开关电路

Fig 8 Switch array board on CD 4066

在开关电路设计中,共选用了 6 块 CD 4066 双向模拟开关组成模拟数据总线,由十进制译码器 CD 4028 对数据总线的控制端进行控制。地址从 CD 4028 的 A,B,C,D 四端输入,并按其输入的不同状态分别接通相应的一组开关,将这一组开关的数据送入计算电路进行计算,然后送入显示器显示结果。

3 多功能流量计的验证

为了测定多功能流量计的运行情况,验证测量数据的精度,在西北农林科技大学水利与建筑工程学院水工实验厅反复进行了多次实验,并与人工测针法进行了比较,测量结果满足要求,其误差不大于 3%,仅举 2 例,验证结果见表 1。

表 1 直角三角堰和矩形Ⅱ型短管上的测量对比

Table 1 Comparison between two experiments measuring flux through right angle triangular weir and rectangular short pipe Ⅱ

直角三角堰 Right angle triangle weir				矩形Ⅱ型短管 Rectangular short pipe Ⅱ			
人工测针法 Point gauge on triangular weir		多功能流量计 Multi-function flowmeter		人工测针法 Point gauge on triangular weir		多功能流量计 Multi-function flowmeter	
水位/cm Water level	流量/(L·s ⁻¹) Rate of flow	水位/cm Water level	流量/(L·s ⁻¹) Rate of flow	水位/cm Water level	流量/(L·s ⁻¹) Rate of flow	水位/cm Water level	流量/(L·s ⁻¹) Rate of flow
10.32	4.790	10.26	4.690	2.140	14.29	2.050	13.89
12.50	7.730	12.48	7.710	2.830	16.43	2.790	7.710
13.85	9.990	13.80	9.890	4.420	20.53	4.340	20.41
15.20	12.61	15.22	12.65	6.360	24.63	6.310	24.62
16.24	14.88	16.24	14.88	7.340	26.46	7.250	26.39
17.04	16.78	17.01	16.70	8.140	27.87	8.040	27.78
18.50	20.61	18.48	20.62	9.440	30.01	9.350	29.90
19.91	24.76	19.89	24.39	11.89	33.68	11.47	33.18
21.11	28.66	21.08	28.60	14.40	37.06	13.87	36.42
21.86	31.28	21.84	31.22				

[参考文献]

[1] 郁有文,常健.传感器原理及工程应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,2001.
[2] 王国定,王鸿宾,尹嘉祥,等.中国集成电路大全——CMOS 集成电路[M].北京:国防工业出版社,1985.
[3] 彭兵,韩克敏,韩勇.基于计数器的可编程定时电路[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2003,31(5):199-201.
[4] 陈国华.CD4017 集成电路应用 200 例[M].北京:人民邮电出版社,1996.
[5] 何希才.新型集成电路应用实例[M].北京:电子工业出版社,2002.
[6] 孙肇燧.脉冲与数字电路[M].北京:铁道出版社,1998.

Multi—function flowmeter based on IC

HAN Ke-m in¹, HAN Yong², ZHANG Ning¹

(1 College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2 College of Information Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: This article is on Multi-function flowmeter based on IC, including theory of measuring flow, several flow measuring formula to different flow measuring structure, the method of measuring water level and difference between two water levels with pressure sensor and float sensor, working theory of several sorts of IC, functions and characters of Multi-function flowmeter. In the end of the article, data and conclusion of experiment on Multi-function flowmeter are shown. Multi-function flowmeter has high precision and can be used in irrigation.

Key words: multi-function flowmeter; flow measuring formula; pressure sensor; IC